

# Evolución de la estructura científica española: ISI Web of Science 1990-2005

Por Benjamín Vargas-Quesada, Félix de Moya-Anegón, Zaida Chinchilla-Rodríguez, Elena Corera-Álvarez y Vicente Guerrero-Bote (Grupo Scimago)



**Benjamín Vargas-Quesada**, profesor colaborador del área de comunicación y documentación de la Universidad de Granada e investigador del Grupo SCImago.



**Félix de Moya-Anegón**, catedrático del área de comunicación y documentación de la Universidad de Granada y responsable del grupo SCImago.



**Zaida Chinchilla-Rodríguez**, doctora en documentación e información científica. Investigadora del Grupo SCImago.

**Resumen:** Este trabajo muestra un estudio longitudinal de la evolución del dominio científico español ISI en tres intervalos temporales: 1990-1995, 1996-2000 y 2001-2005. El objetivo final es mostrar la estructura básica y columna vertebral de la investigación española, así como estudiar su evolución. Para ello se han utilizado las categorías ISI como unidades de representación, la cocitación como unidad de medida y algoritmos de poda para simplificar las relaciones entre categorías en las visualizaciones. Los resultados muestran que desde un punto de vista macro-estructural, biomedicina y ciencias de los materiales son el núcleo

de investigación. Con el tiempo, este núcleo se consolida y enriquece con el área de agricultura y ciencias del suelo. Desde la perspectiva micro-estructural, se observa un incremento de las ciencias interdisciplinarias, que ocupan posiciones centrales, indicando un aumento en la interacción entre las ciencias tradicionalmente relevantes o visibles y las más periféricas u ocultas.

básico de investigación. Con el tiempo, este núcleo se consolida y enriquece con el área de agricultura y ciencias del suelo. Desde la perspectiva micro-estructural, se observa un incremento de las ciencias interdisciplinarias, que ocupan posiciones centrales, indicando un aumento en la interacción entre las ciencias tradicionalmente relevantes o visibles y las más periféricas u ocultas.

**Palabras clave:** Visualización de información, Visualización de redes, Producción científica, Cocitación, España, Análisis de dominios, Evolución de redes, Pathfinder networks, Pfnets.

**Title:** ISI Web of Science 1990-2005: evolution of the science web structure in Spain

**Abstract:** This longitudinal study of the development of Spain's ISI scientific domain examines three key time periods: 1990-1995, 1996-2000 and 2001-2005, with the goal of describing the basic structure and backbone of Spanish research, as well as studying its development over time. To this end, ISI categories are used as units of analysis, co-citation as units of measure, and pruning algorithms to simplify the relationship between categories in the visualizations. The results show that from the macrostructure point of view, biomedicine and materials science research provide the basic nucleus at first. Over the years this nucleus is consolidated and expanded with agricultural and soil sciences research. From the micro-structure perspective, an increase is observed in the number of interdisciplinary categories, which occupy central positions, indicating increased interaction between disciplines that have traditionally been more important or visible and those on the periphery, or less well known.

**Keywords:** Information visualization, Network visualization, Scientific output, Co-citation, Spain, Domain analysis, Network evolution, Pathfinder networks, Pfnets.

**Vargas-Quesada, Benjamín; Moya-Anegón, Félix de; Chinchilla-Rodríguez, Zaida; Corera-Álvarez, Elena; Guerrero-Bote, Vicente.** "Evolución de la estructura científica española: ISI Web of Science 1990-2005". En: *El profesional de la información*, 2008, enero-febrero, v. 17, n. 1, pp. ¿¿¿-¿¿?.

DOI: 10.3145/epi.2008.ene.03



**Elena Corera-Álvarez**, doctora en documentación e información científica e investigadora del Grupo SCImago.



**Vicente Guerrero-Bote**, profesor titular de biblioteconomía y documentación de la Universidad de Extremadura e investigador del Grupo SCImago.

Artículo recibido el 23-07-07

Aceptación definitiva: 26-09-07

## 1. Introducción

En **Moya-Anegón**, et al. (2006) propusimos una metodología para la visualización y análisis del dominio científico español. Basándonos en la cocitación de categorías *ISI*, en la representación de su estructura mediante redes sociales y en su simplificación a través de algoritmos de poda, mostramos el modelo de articulación de la investigación científica española en el período comprendido entre 1990 y 2005. En ese mismo trabajo, además sugerimos que esas mismas visualizaciones construidas con espacios temporales más cortos, podían ser perfectamente utilizadas para el estudio de la evolución de un determinado dominio científico.

El consenso general tanto en el campo de la visualización de la información como en el de la cartografía geográfica, es que varios mapas de un mismo objeto de estudio son mejores que uno solo. Esto es así porque cada mapa puede proporcionar una perspectiva diferente. El precursor del estudio de la ciencia por medio de sucesiones de mapas fue **Garfield** (1994), introduciendo el concepto de *historiogramas*, que consiste en una serie de representaciones cronológicas secuenciales, a partir de las cuales es posible estudiar la evolución del conocimiento científico.

En este trabajo mostramos y analizamos la evolución de la estructura del dominio científico español por medio de la visualización de tres cienciogramas. Comenzaremos haciendo una breve revisión de los trabajos relacionados con éste, seguiremos con el material y metodología utilizados para la construcción de dichos cienciogramas, continuaremos mostrando los resultados alcanzados junto con su discusión oportuna en cada caso, y finalizaremos con las conclusiones obtenidas en base al análisis de su totalidad.

## 2. Antecedentes

Ya desde principios de los años 60, Garfield demuestra que es posible construir mapas históricos basados en la citación de los documentos científicos (Garfield, 1963), (Garfield; Sher; Torpie, 1964). Poco más tarde Price (1965) indica que los patrones de citación de los autores de artículos científicos definen los frentes de investigación y que además pueden ser utilizados para reflejar la estructura científica de un dominio. En la década de los 70, Small y Griffith (Small; Griffith, 1974), (Griffith, 1974) representan las especialidades de las ciencias naturales, demostrando que la ciencia es una red de especialidades interconectadas entre sí. Un año más tarde Aaronson (1975) radiografía la biomedicina de un período de dos años y muestra su evolución. En los años 80, la generación de visualizaciones de mapas de dominios científicos se hace más prolífica. Aparecen los mapas de bioquímica y biología molecular (Garfield, 1981), biotecnología y genética molecular

(Garfield, 1984), bioquímica, inmunología y biología animal y vegetal (Garfield, 1988) y por último, farmacología (Seiden; Swanson, 1989).

Con la llegada de los 90 surgen nuevos métodos y técnicas para la recopilación de la información y el análisis, la visualización y el posicionamiento espacial de la información. Así por ejemplo, desde el *Centre for Science and Technology Studies (CWTS)*, *Univ. de Leiden*, Holanda, se trabaja en la generación de mapas de la ciencia, haciendo hincapié en su estructura y aspectos dinámicos (Braam; Moed; Van Raan, 1991; Van Raan; Tijssen, 1993; Braam; Moed; Van Raan, 1991b; Brandenburg; Himsolt; Rohrer, 1995). White y McCain en 1997 y 1998 proponen la visualización como modelo para el estudio y análisis de una disciplina mediante mapas temporales. En 1998 Garfield aboga por el uso de las nuevas técnicas de visualización para la generación de mapas globales-secuenciales de la ciencia. Chen (1998a; 1998b) incorpora *Pathfinder networks (Pfnets)* al campo de la documentación, para la poda de enlaces en la visualización de redes sociales y con el propósito de obtener estructuras simples al mismo tiempo que informativas.

El nuevo milenio incorpora como reto la generación dinámica de los mapas y su uso como interfaces para el acceso y la recuperación de información. White (2000) propone el uso de las redes centradas en un sujeto como interfaces de acceso y recuperación de información bibliográfica. Noyons, Moed y Luwel (1999), Buter y Noyons (2001) y luego Noyons (2001) en solitario, analizan el uso de los mapas como metáforas de una disciplina científica, su uso como interfaces y sus limitaciones. Chen y Paul (2001), Chen, Paul y O'keefe (2001) representan los patrones estructurales de la literatura científica en mapas 3D. Ding, Chowdhury y Foo (2001) ponen de manifiesto los modelos, patrones y tendencias del campo de la recuperación a partir de su estructura intelectual. Guerrero-Bote, Moya-Anegón y Herrero-Solana, (2002), utilizan un *self-organizing map (SOM)* para la clasificación, browsing y recuperación de información. White, Buzydlowski y Lin (2000), presentan *Authorlink*: un sistema dinámico de visualización de la información basado en la cocitación de autores, que permite el browsing y la recuperación de información en tiempo real (Buzydlowski; White; Lin, 2002; Lin; White; Buzydlowski, 2003). Small (2003), teoriza sobre el diseño de una herramienta web capaz de detectar y monitorizar cambios en los frentes de investigación de un área en tiempo real. Chen y Kuljis (2003) estudian la aparición y evolución de frentes de investigación en el campo de la física. De nuevo Chen, pero ahora con Morris (Chen; Morris, 2003), enfrentan *Minimum Spanning Tree (MST)* con *Pfnets* para la detección e identificación de frentes de

investigación, llegando a la conclusión de que el segundo ofrece resultados más estables. **Morris**, et al. (2003) trabajan en la visualización, detección e identificación de los cambios temporales en los frentes de investigación. El *Grupo SCImago* (**Moya-Anegón**, et al., 2004), (**Moya-Anegón**, et al., 2005) propone la cocitación de categorías *ISI* como unidades de análisis y representación para la generación de mapas de grandes dominios científicos y compara tres de ellos. Ese mismo año, **Bo-yack**, **Klavans** y **Börner** (2005) desarrollan una metodología que permite la visualización a “vista de pájaro” del mapa de la ciencia mundial para el año 2000. Un año más tarde, **Samoylenko**, et al. (2006) propone un método para la visualización de la estructura científica mundial y su evolución por medio de *MSTs*. Finalmente **Leydesdorff** (2007) combina el *Journal Citation Report* del *SCI* y del *SSCI*, ambos de 2004, y a partir de los mapas de revistas que obtiene, muestra sus especialidades.

### 3. Material y métodos

#### 3.1. Recopilación de información

Con fines estrictamente investigadores, hemos descargado del *ISI Web of Science* (*The Thomson Corporation*, 2007), en concreto de las bases de datos *SCI-Expanded*, *SSCI* y *A&HCI*, todos los registros de la producción científica española publicados entre los años 1990 y 2005. Para ello se han recuperado todos los documentos que en ese período de tiempo contenían la palabra *spain* en el campo “Address”. También hemos descargado los *Journal Citation Reports* (*JCRs*), tanto en su edición *Science* como *Social Sciences*, para los años que se pretende cubrir. Los registros se han exportado a una base de datos relacional que contiene un total de 370.047 documentos fuente (*articles*, *biographical items*, *book reviews*, *corrections*, *editorial materials*, *letters*, *meeting abstracts*, *news items* y *reviews*) que se han publicado en 7.585 revistas *ISI* clasificadas en 241 categorías y que citan a 9.550.959 documentos *ISI* anteriormente publicados.

Algunos autores (entre los que se encuentra un evaluador de este trabajo) consideran que es posible que exista un cierto sesgo metodológico al introducir un mecanismo de evaluación (las bases de datos *ISI*) manifestamente centrado en la biomedicina. En el *Grupo SCImago* (*SCImago Group*, 2007) no estamos de acuerdo con esta opinión. La historia de las bases de datos *ISI* ha estado plagada de críticas relacionadas con el sesgo en la cobertura de sus revistas en términos de disciplinariedad y nacionalidad. No obstante, estudios que comparan la cobertura del *SCI* con la del *Ulrich's International Periodicals Directory* (**Braun**; **Glänzel**; **Schubert**, 2000), demuestran que esto no es así. El conjunto de revistas *SCI* presenta un balance equilibra-

do con respecto al *Ulrich's* a nivel macro, por lo que afecta al menos a países y disciplinas. En contra de la creencia general, este estudio demuestra que no existe un sesgo en estas bases de datos a favor de *EUA* o de la biomedicina. En algunos casos, incluso existe una infra-representación. Las excepciones en cuanto a cobertura por disciplinas se centran en Alemania y en concreto en la agricultura, y en lo referente a editores, destaca *Elsevier*. En general, existe una sobre-representación de los principales editores en el *SCI* y, en cualquier caso, este fenómeno no afecta a los objetivos de este trabajo.

#### 3.2. Unidades de análisis

Como hemos indicado anteriormente, recurrimos a las categorías *ISI* como unidades de análisis y representación. Cada categoría aglutina las revistas que han sido categorizadas bajo ese nombre y a su vez, a los documentos que se han publicado en esas publicaciones. No utilizamos la categoría *Multidisciplinary sciences*, por lo que todos los documentos adscritos ella se han recategorizado. Para ello, hemos seguido el método propuesto por **Glänzel** y sus colegas (**Glänzel**; **Schubert**; **Czerwon**, 1999; **Glänzel**, et al., 1999), que consiste en volver a asignar a cada uno de esos documentos la categoría desde la que son más referenciados.

---

**“Tomando como patrón el directorio de revistas Ulrich, Braun, Glänzel y Schubert demostraron en 2000 que no existe un sesgo en las bases de datos ISI a favor de EUA o de la biomedicina”**

---

#### 3.3. Unidades de medida

De acuerdo con nuestra experiencia (**Vargas-Quesada**; **Moya-Anegón**, 2007), utilizaremos la cocitación como unidad de medida para cuantificar el grado de relación existente entre cada una de las categorías del *JCR*. No aplicaremos ninguna medida de similaridad entre categorías. Al igual que **Leydesdorff** y **Vaughan** (2006) y **Ortega** y **Aguillo** (2006), hemos comprobado que la normalización de los valores de cocitación en matrices simétricas, provoca distorsiones. En nuestro caso hace que las relaciones entre categorías no sean tan coherentes como cuando se utiliza *raw data*.

#### 3.4. Reducción de la dimensión

La visualización de un dominio científico implica la representación de un número elevado de unidades de análisis que muestran sus interacciones mediante enlaces o conexiones. Entre las distintas técnicas que existen para la creación de visualizaciones bidimensionales, *Pfnet* basado en valores de cocitación sin



normalizar y sustentado en algoritmos de distribución espacial del tipo *spring embedders*, parece ofrecer numerosas ventajas desde un punto de vista estético y de análisis (White; Buzdydlowski; Lin, 2000).

Aunque *Pfnets* se ha utilizado en los campos de la bibliometría, informetría y cienciometría desde 1990 (Fowler; Dearhold, 1990), su introducción en el campo de la citación vino de la mano de Chen (1998a; 1999). Se basa en dos elementos: en la distancia de Minkowski ( $r$ ), y en una extensión del principio de desigual del triángulo aplicada a la longitud de los *paths* o caminos que conectan dos nodos ( $q$ ). De esta forma, todos los caminos que violen la desigualdad triangular y que tengan una distancia menor que otro camino entre los mismos puntos compuesto de hasta  $q$  enlaces, calculando las distancias mediante la ecuación paramétrica de Minkowski con el parámetro  $r$ , serán eliminados. Desde nuestro punto de vista, *Pfnets* con valores de  $r = \infty$ , y  $q = n - 1$  es la mejor opción para capturar la estructura intelectual de un dominio, por medio de los enlaces entre categorías más prominentes.

### 3.5. Distribución espacial de la información

Existen muchos métodos para la generación automática de grafos. De todos ellos, los insertadores de muelles (*spring embedders*, son los más utilizados en el área de la documentación. De este tipo de algoritmos, el más utilizado en documentación es el de Kamada y Kawai (1989). Su comportamiento ante los mínimos locales, el intento de minimizar las diferencias con las distancias teóricas en todo el gráfico, sus buenos tiempos de computación, etc., hacen que sea uno de los más utilizados para la visualización de la información.

La combinación de valores de cocitación sin normalizar, *Pfnets*, y Kamada-Kawai, provoca que las categorías más interdisciplinarias de un dominio científico tiendan a situarse en el centro, como consecuencia de su mayor grado o número de enlaces (Chen, 1998a). Esto les da un valor añadido a las visualizaciones obtenidas, pues además de mostrar la estructura científica de un dominio, informa de una manera intuitiva sobre cuáles son las categorías o áreas temáticas que más participan en su desarrollo.

## 4. Resultados y discusión

El siguiente análisis se centra en la evolución temporal del dominio geográfico español a través de tres cienciogramas comprendidos entre el período 1990 y 2005. Estos cienciogramas tienen una peculiaridad que no aparecía en los mostrados en Moya-Anegón, et al. (2006): presentan algunas conexiones o enlaces muy débiles entre categorías, provocando lo que podríamos denominar como conexiones extrañas o enlaces “dudosos” y que para Granoveter (1973), son los responsa-

bles de la interconexión de nodos de diferentes clusters. Para Small (1999), identifican conexiones inestables que se producen entre agrupaciones de documentos que representan el punto interdisciplinar entre dos áreas de conocimiento. Para el caso que nos ocupa, identifican conexiones tangenciales entre categorías, y son consecuencia de la falta de información referencial que las bases de datos *ISI* tienen en algunos dominios científicos, como por ejemplo España, en las áreas de ciencias sociales y humanidades. Sirva como ejemplo de estos enlaces débiles o dudosos la conexión que se produce entre la categoría *Literature, African, Australian, Canadian y Ecology* (zona central-derecha) en la ilustración 1.

En este artículo y para el período de tiempo que aquí se estudia, consideraremos que los enlaces con un valor de cocitación inferior a cinco, pueden ser responsables de conexiones dudosas entre categorías. Para hacerlo saber a todo aquel que observe estos cienciogramas, los colorearemos de rojo.

### 4.1. Cienciogramas

Las ilustraciones 1, 2 y 3, muestran los cienciogramas de la producción científica española durante los períodos: 1990-1995, 1996-2000 y 2001-2005, que suponen la esquematización gráfica de 90.223, 121.996 y 157.828 documentos, agrupados en sus respectivas categorías *JCR*.

El cienciograma del primer período se compone de 219 categorías, dos de las cuales: *Poetry*, y *Literature German, Netherlandic or Scandinavian* se muestran aisladas, es decir, cuentan con artículos recogidos por las bases de datos del *ISI*, pero no muestran relación con ninguna otra categoría, salvo con ellas mismas. El segundo período está constituido por 223 categorías, no mostrándose ninguna de ellas como aislada. El último intervalo consta de 240, no apareciendo tampoco ninguna de ellas aislada.

Los tres cienciogramas presentan la ya típica estructura vista en los trabajos en los que aplicamos esta metodología (Moya-Anegón, et al., 2006; Vargas-Quesada; Moya-Anegón, 2007): una neurona con un gran núcleo central del que surgen diversas prolongaciones o dendritas. A simple vista, se puede observar a lo largo de los tres cienciogramas, que cuanto más actual es el período de estudio, mayor es el núcleo central y más uniforme y reducido es el número de dendritas que parten de él. Es decir, parece verse una evolución consistente en el aumento de las categorías que constituyen el centro de la investigación del dominio español, al tiempo que se aprecia una mayor definición y unificación de las principales líneas de investigación de dicho dominio.

Para un estudio más detallado de la evolución del dominio, realizamos análisis factorial (AF) sobre la

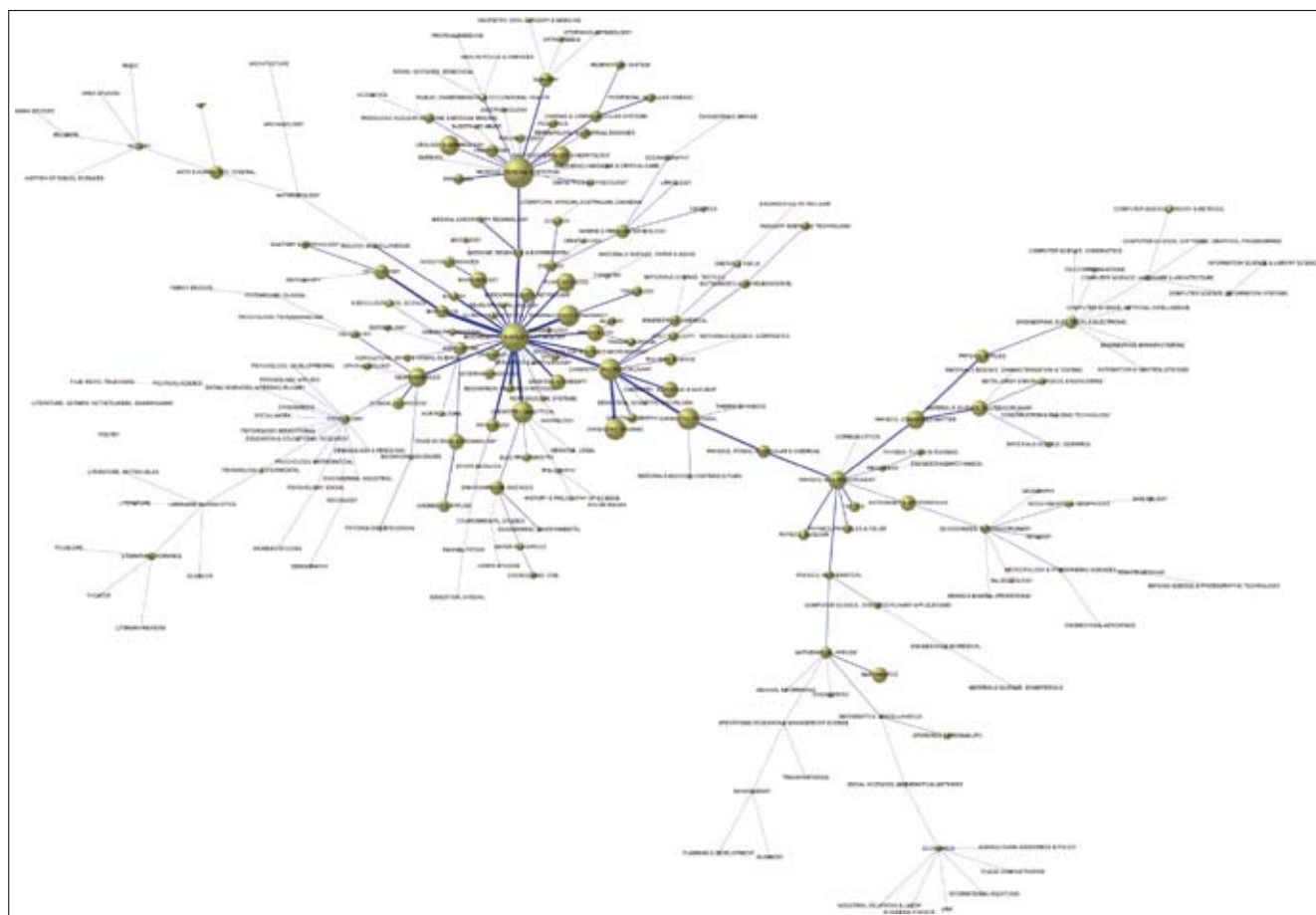


Ilustración 1. Cienciograma del dominio geográfico español, 1990-1995

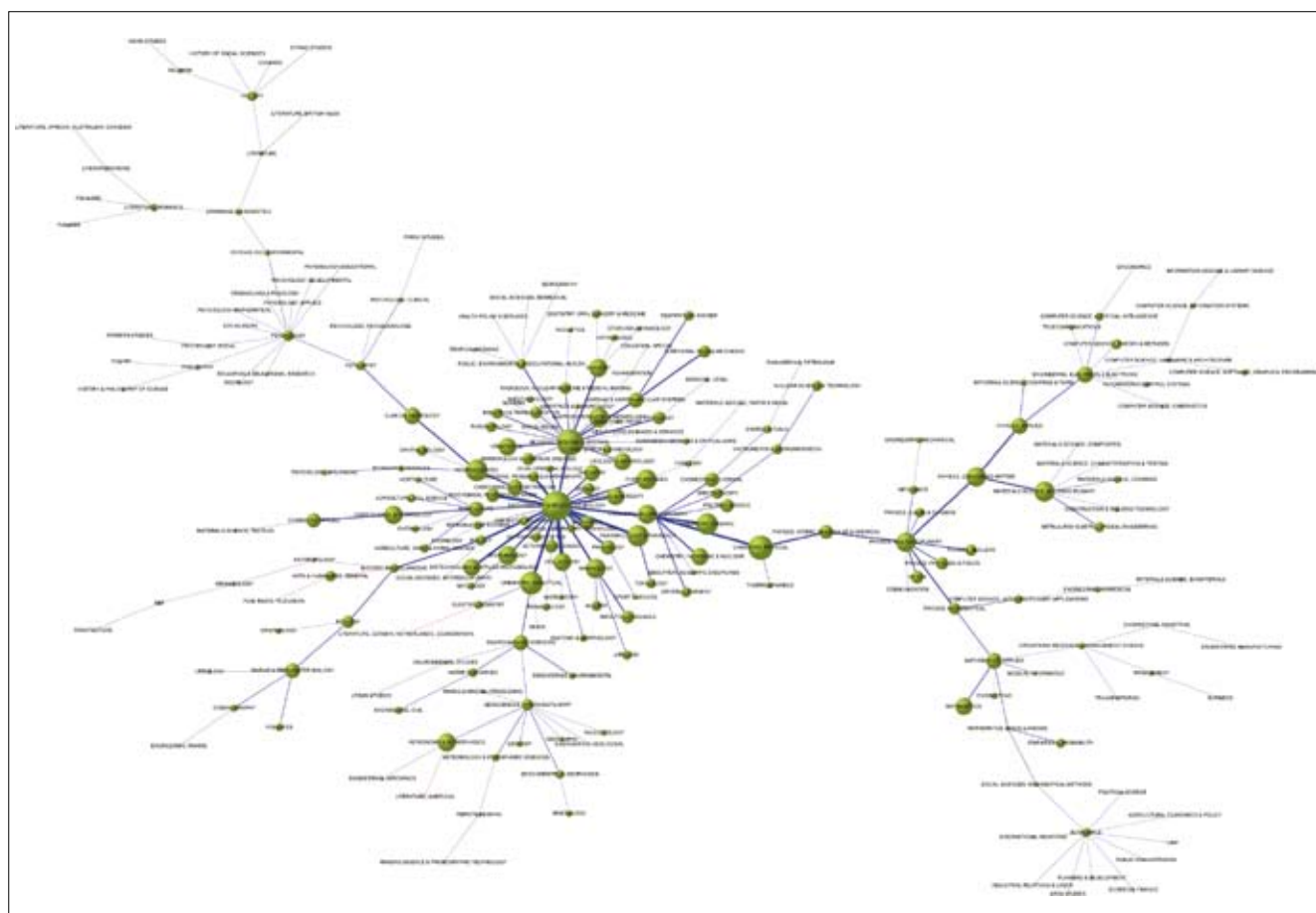


Ilustración 2. Cienciograma del dominio geográfico español, 1996-2000

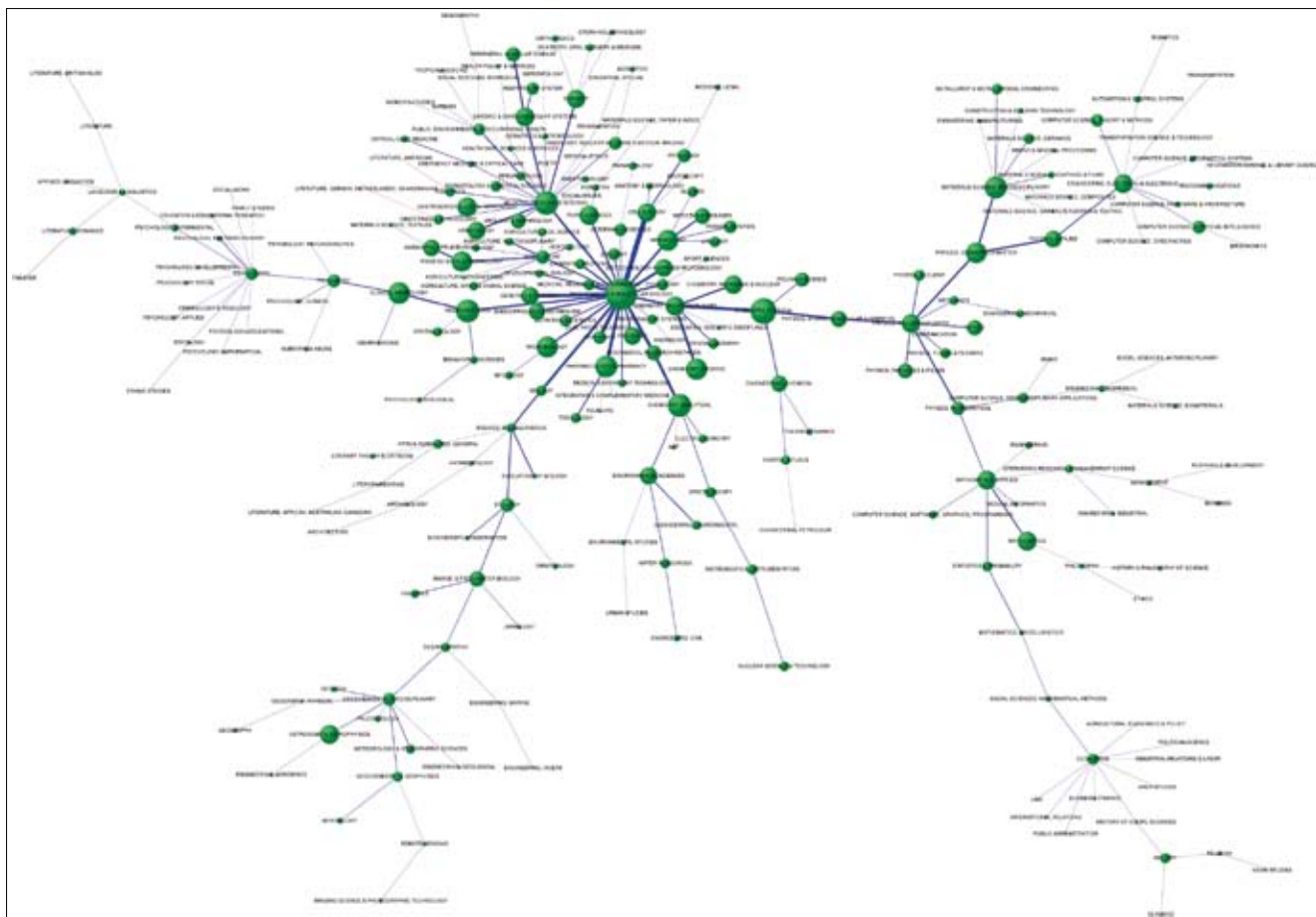


Ilustración 3. Cienciograma del dominio geográfico español, 2001-2005

matriz de cocitación original de cada período. Posteriormente trasladamos los resultados a cada uno de sus correspondientes cienciogramas, dando lugar a lo que hemos dado en llamar cienciogramas factoriales (CF).

#### 4.2. Cienciogramas factoriales

De acuerdo con el procedimiento explicado en **Moya-Anegón**, et al. (2006), extraemos y categorizamos diez factores del período 1990-1995, otros diez en el de 1996-2000 y once, en el de 2001-2005. El nombre de cada factor, junto con su varianza individual y acumulada en cada caso, es el que se muestra en las tablas 1, 2 y 3.

Comparando las tres tablas anteriores, podemos ver que los dos primeros períodos son prácticamente iguales. Pues cuando más, difieren levemente en la denominación de un factor, así como en la varianza explicada por alguno uno de ellos. Las diferencias del tercer período con respecto a los dos anteriores son algo mayores. En primer lugar aparece un nuevo factor como es *Política sanitaria y servicios médicos*, que se desgaja de *Biomedicina*. Además, es posible observar un movimiento descendente, y por tanto de pérdida de correlación entre sus categorías, en los factores relacionados con la agricultura y las humanidades. Por el contrario, se aprecia un movimiento ascendente, y por

1990-1995			
Fac-tor	Nombre de factor	% varianza	% de varianza acumulada
1	Biomedicina	23,1	23,1
2	Ciencias de los materiales y química aplicada	12,9	36,0
3	Psicología	7,8	43,8
4	Agricultura y ciencias del suelo	6,3	50,1
5	Informática y telecomunicaciones	4,1	54,2
6	Ciencias de la tierra y del espacio	3,1	57,3
7	Gestión, derecho y economía	3,3	60,6
8	Arte y humanidades	2,4	63,0
9	Biología animal y ecología	2,4	65,4
10	Física nuclear y de partículas	1,5	66,9

Tabla 1. Factores extraídos del dominio geográfico español 1990-1995

1996-2000			
Fac-tor	Nombre de factor	% varianza	% de varianza acumulada
1	Biomedicina	23,1	23,1
2	Ciencias de los materiales y física aplicada	13,2	36,3
3	Psicología	8,2	44,5
4	Agricultura y ciencias del suelo	6,8	51,3
5	Informática y telecomunicaciones	4,4	55,7
6	Ciencias de la tierra y del espacio	4,0	59,7
7	Gestión, derecho y economía	3,4	63,1
8	Humanidades	3,1	66,2
9	Biología animal y ecología	2,3	68,5
10	Física nuclear y de partículas	1,4	69,9

Tabla 2. Factores extraídos del dominio geográfico español 1996-2000

2001-2005			
Fac-tor	Nombre de factor	% varianza	% de varianza acumulada
1	Biomedicina	22,1	22,1
2	Ciencias de los materiales y física aplicada	12,3	34,4
3	Psicología	7,7	42,1
4	Ciencias de la tierra y del espacio	6,9	49,0
5	Informática y telecomunicaciones	4,4	53,4
6	Agricultura y ciencias del suelo	4,1	57,5
7	Gestión, derecho y economía	3,4	60,9
8	Biología animal y ecología	2,7	63,6
9	Política sanitaria y servicios médicos	2,1	65,7
10	Humanidades	1,9	67,6
11	Física nuclear y de partículas	1,7	69,3

Tabla 3. Factores extraídos del dominio geográfico español 2001-2005

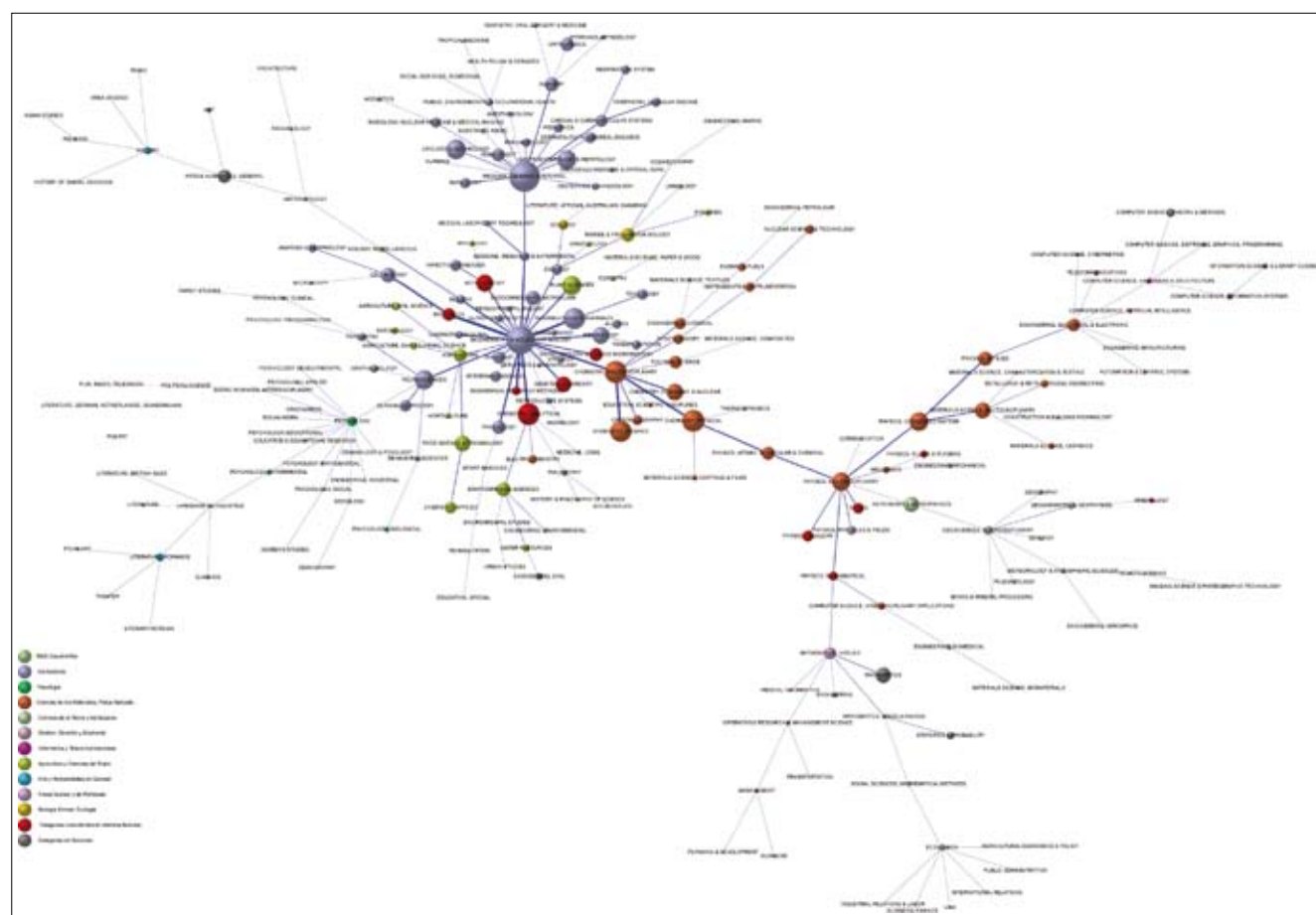


Ilustración 4. Cienciograma factorial del dominio español 1990-1995

Disponible para el lector en tamaño real en la web. <http://www.scimago.es/benjamin/sp90-95.jpg>



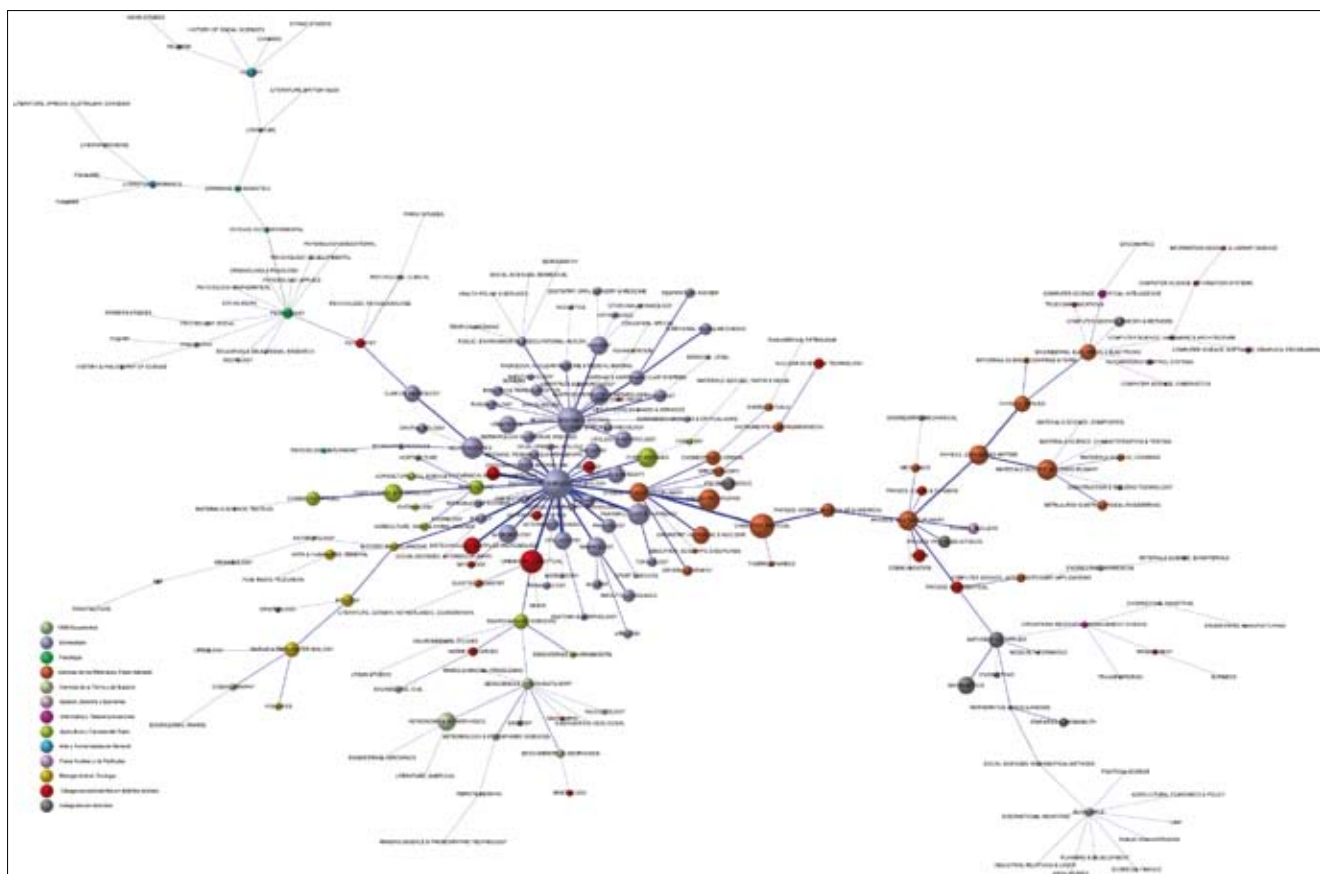


Ilustración 5. Cienciograma factorial del dominio español 1996-2000

Disponible para el lector en tamaño real en la web. <http://www.scimago.es/benjamin/sp96-00.jpg>

tanto de correlación de sus componentes, en los factores relacionados con las ciencias del medioambiente. Esto es debido a una mayor profusión en la utilización de fuentes externas a sus propios factores, en el primer caso, y lo contrario en el segundo.

El cienciograma factorial (CF) del período 1990-1995 deja veintiséis categorías sin factorizar (de color gris, el de 1996-2000 treinta y seis, y el de 2001-2005, 29). No obstante, de las veintiséis primeras categorías del período 1990-1995, sólo siete siguen sin factorizar entre 2001-2005. Esto quiere decir que de las veintiséis categorías que intervenían muy poco en la investigación española en el período 1990-1995, como pone de manifiesto el hecho de no ser factorizadas por su bajo peso, sólo siete continúan haciéndolo hoy día. El resto, como consecuencia de la evolución de la investigación, han ido ganando peso a lo largo del tiempo. No obstante, y precisamente a raíz del desarrollo de la investigación científica, surgen nuevas categorías, que de momento en el dominio español tienen poca relevancia. Esta es la razón del alto número de categorías sin factorizar que se recogen en el período 2001-2005.

#### 4.3. Macro-estructura

Los cienciogramas de los tres períodos muestran la típica distribución bibliométrica de pocas áreas temáticas de gran tamaño y muchas de dimensión reducida.

**“Los cienciogramas de los tres períodos muestran la típica distribución bibliométrica de pocas áreas temáticas de gran tamaño y muchas de dimensión reducida”**

Este tamaño diferencial refleja la naturaleza hiperbólica esencial de todas las distribuciones bibliométricas ya explicada por **Small y Garfield (1985)**. Al mismo tiempo, existe una gran área temática central que hace de punto de interconexión de otras más pequeñas que la rodean. En la medida en que avanzamos temporalmente en los CFs se confirma la observación a la que hacíamos referencia anteriormente en los cienciogramas no factoriales: el aumento del número de categorías que ocupan posiciones centrales. Esto no se debe tanto a un incremento de las pertenecientes al área temática central, pues su número sólo aumenta en cinco a lo largo de todo el período, sino más bien a que categorías de otras áreas como *Biología animal y ecología*, o *Agricultura y ciencias del suelo*, pasan a ocupar posiciones relevantes o centrales, a raíz de compartir fuentes, fundamentalmente, con otras que ya ocupaban esta posi-



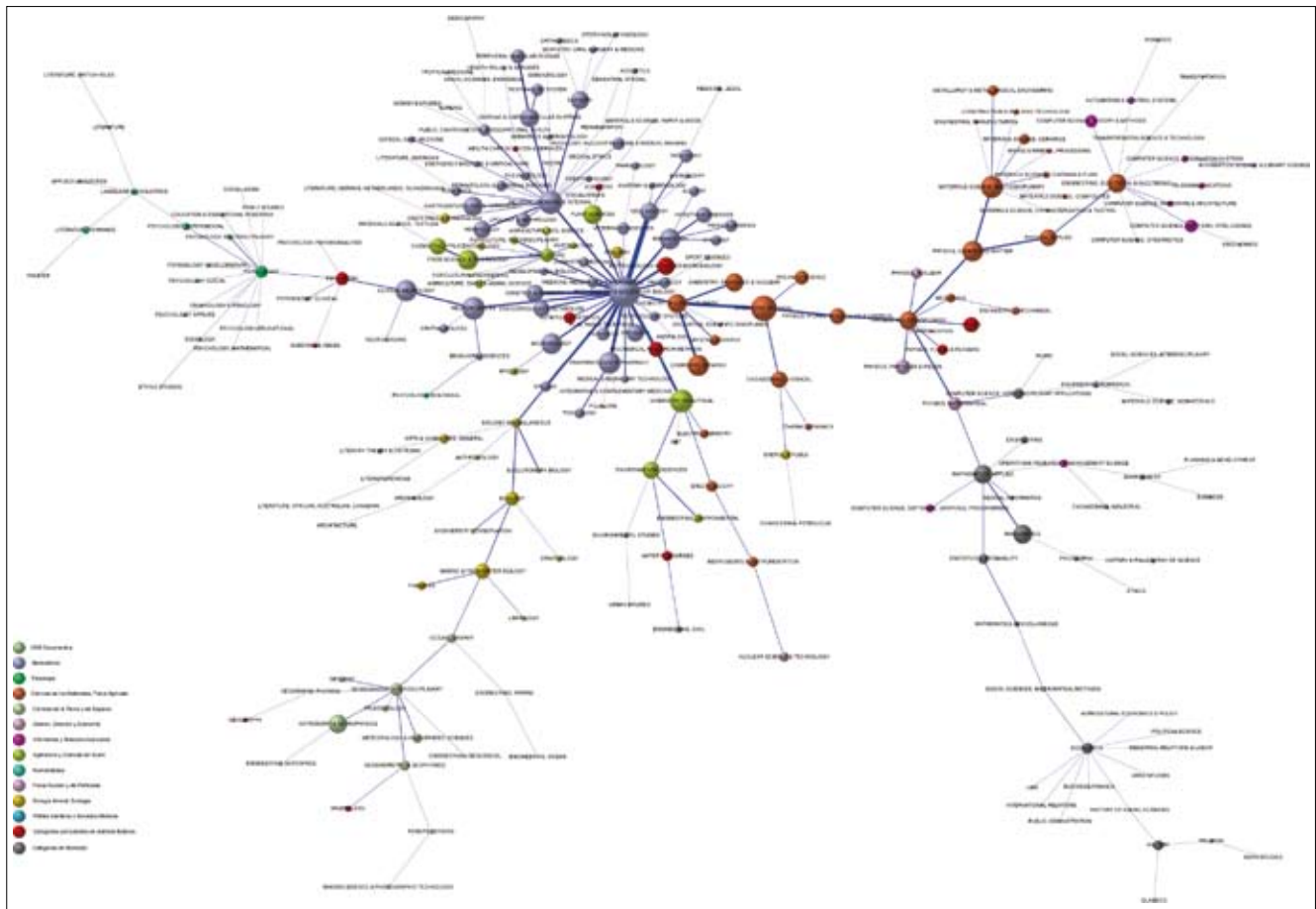


Ilustración 6. Cienciograma factorial del dominio español 2001-2005  
 Disponible para el lector en tamaño real en la web. <http://www.scimago.es/benjamin/sp01-05.jpg>

ción. De esta forma consiguen mejorar su universalidad e interés en la investigación del dominio, provocando a su vez el engrosamiento del núcleo.

Las posiciones relativas que ocupan las áreas temáticas, son prácticamente las mismas en los tres períodos. Sólo se diferencian en que durante 1990-1995, las *Ciencias de la Tierra y del espacio* se sitúan en la zona derecha, mientras que en los otros dos, aparecen en la parte central. No obstante, sí que hay diferencias en la forma en que éstas se interconectan. En 1990-1995, la *Psicología* parece tener una orientación más dedicada al estudio de la mente, de ahí su conexión con la *Biomedicina: Biochemistry & molecular biology ↔ Neurosciences ↔ Psychology*, mientras que en los intervalos 1996-2000 y 2001-2005, la investigación en esta área se reorienta a los estudios clínicos y patológicos como muestra el cambio de su ruta: *Biochemistry & molecular biology ↔ Neurosciences ↔ Clinical neurology ↔ Psychiatry ↔ Psychology*. En el primer período, las *Humanidades* aparecen conectadas con la *Biología animal y la ecología* a través de la *Antropología: History ↔ Arts & humanities ↔ Anthropology ↔ Biology miscellaneous ↔ Biology*, mientras que en los dos restantes se muestran unidas a la *Psicología* por medio de la categoría *Language & linguistic*, indican-

do así un cambio en la investigación y en las fuentes utilizadas en esta área. El área temática de las *Ciencias de la Tierra y del espacio* también sufre cambios a lo largo de este período de estudio. Entre 1990 y 1995, aparece vinculada a *Ciencias de los materiales y física aplicada: Geosciences interdisciplinary ↔ Astronomy & astrophysics ↔ Physics multidisciplinary*. En el espacio comprendido entre 1996 y 2000 su conexión más fuerte la establece con la *Biomedicina: geosciences interdisciplinary ↔ Environmental sciences ↔ Chemistry analytical ↔ Biochemistry & molecular biology*. Finalmente, en el período 2001-2005, su investigación básica está compartida con el área temática de la *Biología animal y ecología: Geosciences ↔ Oceanography ↔ Marine & freshwater biology ↔ Ecology ↔ Biology miscellaneous ↔ Biology*.

A simple vista, el área que ocupa una posición más central en los tres períodos es *Biomedicina*. Esto nos indica que se trata del área temática más universal, la que más fuentes comparten el resto y por tanto, la que más conocimiento aporta a las demás. En definitiva, la que más interviene en el desarrollo del dominio científico español. Esta posición nuclear de la *Biomedicina*, se corresponde con la detectada por **Boyack, Klavans y Börner** (2005) en el mundo y por **Vargas-Quesada**

y **Moya-Anegón** (2007) en EUA y Europa. El grado de universalidad/exclusividad del resto de áreas temáticas, está en función de su distancia al centro. Permaneciendo este invariable en los tres períodos, con la ligera excepción del último, al contar este con una nueva área temática desgajada de la *Biomedicina*.

Las categorías de color rojo de los cienciogramas indican los puntos de interacción o intercambio de información entre las distintas áreas temáticas. Partiendo de las categorías objeto de interacción del primer período, podemos estudiar su evolución a lo largo del tiempo.

Entre 1990 y 1995, como consecuencia de las inquietudes científicas de los investigadores en ese momento, son quince las categorías que muestran una actividad de intercambio de fuentes entre distintas áreas temáticas. Fundamentalmente son dos los emparejamientos entre áreas temáticas que se reflejan a raíz de esta actitud innovadora: *Biomedicina* con *Agricultura y ciencias del suelo*, y *Ciencias de los materiales* y *física aplicada* con *Física nuclear* y *de partículas*.

En el período 1996-2000, son diecinueve las categorías objeto de intercambio de información. Ocho de ellas, en negrita, con sus correspondientes emparejamientos de áreas temáticas, coinciden con el período 1990-1995. De las once nuevas categorías que aparecen, algunas son la continuación de los intercambios que se producían en el período anterior, pero otras ponen de manifiesto una nueva línea de investigación mediante el emparejamiento de las áreas: *Biomedicina* y *Psicología*.

Por último, en el intervalo 2001-2005, encontramos dieciséis categorías responsables del flujo de información entre distintas áreas temáticas. Cinco de ellas, en negrita, son comunes a los dos períodos anteriores y ponen en contacto a las mismas áreas temáticas. Seis, en cursiva, se repiten en el período anterior, y también relacionan a las mismas áreas temáticas en ambos períodos. Y finalmente, las cinco últimas, muestran lo que podría considerarse como un nuevo emparejamiento y por tanto el inicio de un nuevo foco de investigación: *Agricultura y ciencias del suelo* con *Biología animal* y *ecología*.

#### 4.4. Microestructura

A nivel de categorías, los tres cienciogramas son un claro ejemplo de la naturaleza hiperbólica de las distribuciones bibliométricas. De igual modo, en los tres casos, se produce una mayor concentración de categorías en la zona central y derecha que en la izquierda, presentando al mismo tiempo la ya típica estructura centro-periferia de este tipo de cienciogramas.

Tanto a simple vista como por medio de la centralidad de grado (**Wasserman; Faust**, 1998), detectamos

que *Biochemistry & molecular biology* es la categoría más central con un grado nodal de 26, en los tres cienciogramas. Esto hace que dicha categoría sea la más universal de todas, la que más fuentes comparte con el resto y, en consecuencia, la que más interviene en el desarrollo científico de cada período temporal. Al obtener el mismo grado en los tres casos, no podemos decir que destaque sobre el resto en ningún período, sino que en todos lo hace por igual. El grado de universalidad y participación que el resto de categorías del cienciograma tienen en el desarrollo científico de cada período, es directamente proporcional a su distancia geodésica con respecto a esta categoría. Si tenemos en cuenta que las redes de tipo centro-periferia presentan estructuras muy estables (**García Muñiz; Ramos Carvajal**, 2004), es decir, son resistentes a los cambios, la desaparición y/o aparición de nuevas categorías en el núcleo, no hace más que mostrarnos la evolución de las distintas líneas de investigación del dominio científico español. Por ejemplo, la aparición de *Film*, *radio*, *televisión* como una de las categorías que constituyen el núcleo de la *Biomedicina* en el tercer período, nos indica el inicio y consolidación del vídeo-diagnóstico y de la vídeo-cirugía en este último.

### 5. Columna vertebral

La columna vertebral de un dominio se construye a partir del valor más alto del enlace que une dos áreas temáticas y eliminando todos aquellos que quedan por debajo, junto con las categorías que resultan desconectadas (**Moya-Anegón**, et al., 2006). Desde la perspectiva de su evolución, podemos decir que la columna vertebral de la investigación del dominio español, se afianza y se desarrolla con el paso del tiempo.

En el período 1990-1995 (ilustración 7), son dos las áreas temáticas que componen la columna vertebral de la ciencia española: *Biomedicina* y *ciencias de los materiales*, y está integrada por siete categorías. No obstante, se puede observar una tercera área incipiente: *Agricultura y ciencias del suelo*, pero que no está del todo consolidada, pues todas las categorías que la com-

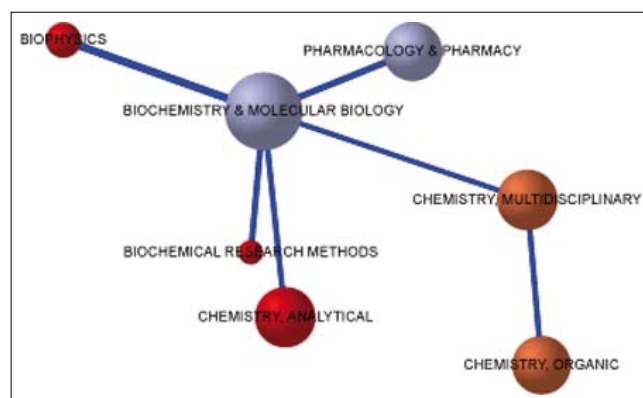


Ilustración 7. Columna vertebral de la investigación española 1990-1995

ponen son de tipo interdisciplinar. Es decir, pertenecen también al área de *Biomedicina*, de ahí su color rojo.

En el intervalo 1996-2000 (ilustración 8) la situación es muy parecida a la anterior, donde la columna vertebral de la investigación española está compuesta por dos áreas temáticas consolidadas y una emergente. No obstante, se produce un aumento en el número de categorías de *Biomedicina*: (tres), al tiempo que la reducción a sólo una, en el área de la *Agricultura y ciencias del suelo*. Por lo que el número total de categorías aumenta con respecto al período anterior: diez frente a siete.

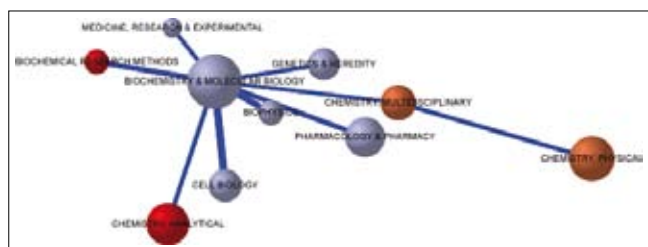


Ilustración 8. Columna vertebral de la investigación española 1996-2000

En el último período (ilustración 9), las tres áreas temáticas aparecen consolidadas, pues al menos una de las categorías que conforman *Agricultura y ciencias del suelo*, ha dejado de ser interdisciplinar, de ahí su color verde. El número de categorías que integran estas tres áreas, también crece respecto al período anterior: trece frente a diez.

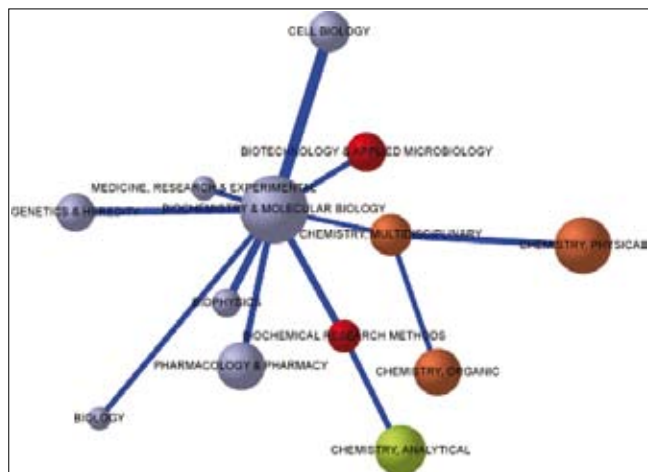


Ilustración 9. Columna vertebral de la investigación española 2001-2005

En esencia, la columna vertebral de la investigación española no cambia en los tres períodos estudiados. Sólo el último refleja la consolidación de un área incipiente como es *Agricultura y ciencias del suelo*. No obstante, desde un punto de vista microestructural sí

**“La columna vertebral de la investigación española no cambia en los tres períodos estudiados. Sólo el último refleja la consolidación de un área incipiente como es Agricultura y ciencias del suelo”**

que hay cambios. En la medida en que se avanza en el tiempo, se observa un aumento del número de categorías en las áreas de investigación ya consolidadas: *Biomedicina* y *Ciencias de los materiales*. De igual modo, se producen cambios de adscripción temática en las categorías de cada área. Esto da como resultado una estructura intelectual de la ciencia más acorde a la observada en los cienciogramas de otros países como EUA, Francia, Alemania o Inglaterra.

## 6. Conclusiones

En este artículo hemos mostrado la evolución del dominio científico español a partir de la producción científica recogida en las bases de datos del *ISI* desde 1990 hasta 2005. Se han identificado sus principales áreas temáticas, categorías y esquema de vertebración para posteriormente mostrar su desarrollo por medio de su comparación. A nivel general, podemos decir que la estructura científica española se asemeja bastante a la de otros grandes dominios como el de EUA y Europa, vistos en **Vargas-Quesada y Moya-Anegón (2007)**. La reciente inclusión por parte del *ISI* de nuevas revistas españolas en sus bases de datos, especialmente en *Social Science Citation Index* y *Arts & Humanities Citation Index*, incrementarán esta similitud, además de atenuar los problemas de falta de información referencial ya comentados.

Desde un principio, el área temática de *Biomedicina* se constituye como el núcleo de la estructura intelectual de la investigación española. Esto se debe a que es la que más recursos o documentos fuente exporta al resto, lo cual la convierte en la más interdisciplinar o central por su mayor grado o número de enlaces. Por otro lado, también es aquella con mayor producción científica, como corroboran los trabajos de: **Gómez, et al. (2002)**; **Butler, (2004)**; **Moya-Anegón, et al. (2004)**; **Gómez, et al. (2004)**; **Moya-Anegón, et al. (2005)**; **Chinchilla-Rodríguez; Moya-Anegón, (2007)**. Según hemos podido constatar en otros cienciogramas, esta posición central de *Biomedicina* es algo propio de países desarrollados como: EUA, Francia, Reino Unido, Alemania, Japón (**Moya-Anegón, et al., 2005**); y no tanto de otros en vías de desarrollo como: China, Cuba y Venezuela (**Vargas-Quesada, et al., 2006**); (*SCIIma-*



go Group, 2007). En nuestra opinión, esto se debe al esfuerzo que los países desarrollados dedican al sostenimiento e incremento de los servicios de la sociedad del bienestar, entre los que se encuentran la salud y la sanidad (Comisión Europea, 2003).

El aumento del número de categorías que se producen en el área de *Biomedicina*, tanto a nivel macro-estructural, como desde el punto de vista del esquema de vertebración, muestra tendencias similares a las observadas en los cienciogramas de otros dominios con una investigación más desarrollada, como son EUA y Europa. *Biochemistry & molecular biology* es la categoría más prominente en esta área y en todos los cienciogramas, poniendo de manifiesto que es la que más fuentes comparte con el resto y por tanto, la que más interviene en el desarrollo científico del dominio.

La segunda área temática más influyente del dominio científico español es *Ciencias de los Materiales*. También es la segunda más productiva: **Gómez**, et al. (2002); **Butler**, (2004); **Moya-Anegón**, et al. (2004); **Gómez**, et al. (2004); **Moya-Anegón**, et al. (2005); **Chinchilla-Rodríguez**; **Moya-Anegón**, (2007, lo cual es tan lógico como necesario, pues es la base para el desarrollo industrial y tecnológico de un dominio. Desde el punto de vista de la columna vertebral de la investigación española, el número de categorías que pertenecen a esta área, se incrementa con el tiempo. No obstante, su crecimiento es lento y debe aumentar más para parecerse al de otros dominios más desarrollados. Su categoría más prominente o central es *Chemistry multidisciplinary*.

*Agricultura y ciencias del suelo*, en dura pugna con *Biología animal y ecología*, termina por constituirse como la tercera área temática más influyente del dominio español. En los cienciogramas de otros dominios desarrollados, como los mencionados anteriormente, ocurre lo contrario. De esta forma, se pone de manifiesto la relevancia que *Agricultura y ciencias del suelo* está empezando adquirir en la investigación y economía española, frente a otros países. No obstante hay que tener en cuenta que se trata de un área joven, consolidada como tal en el último período estudiado, y que la tendencia es imitar los cienciogramas y esquemas de los dominios más desarrollados, por lo que podría verse desplazada por el área de *Biología animal y ecología* en un período posterior. Su categoría más prominente es *Chemistry analytical*.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación pública obtenida mediante el *Plan Nacional I+D+I: SEJ2004-08358-CO2-01/SOC*.

## Bibliografía

- Aaronson, Steve. "The footness of science". En: *Mosaic*, 1975, March-April, v. 6, pp. 22-27.
- Boyack, Kevin W.; Klavans, Richard; Börner, Katy. "Mapping the backbone of science". En: *Scientometrics*, 2005, v. 64, n. 3, pp. 351-374.
- Braam, Robert R.; Moed, Henk F.; Van Raan, Anthony F. J. "Mapping of science by combined co-citation and word analysis. I: structural aspects". En: *Journal of the American Society for Information Science (Jasis)*, 1991a, v. 42, n. 4, pp. 233-251.
- Braam, Robert R.; Moed, Henk F.; Van Raan, Anthony F. J. "Mapping of science by combined co-citation and word analysis. II: Dynamic aspects". En: *Journal of the American Society for Information Science (Jasis)*, 1991b, v. 42, n. 4, pp. 252-266.
- Brandenburg, Franz Josef; Himsolt, Michael; Rohrer, Christoph. "An experimental comparison of force-directed and randomized graph drawing algorithms". En: *Lecture notes in computer science*, 1995, v. 1.027, n. 76, pp. 87.
- Braun, Tibor; Glänzel, Wolfgang; Schubert, Andras. "How balanced is the Science Citation Index's journal coverage? a preliminary overview of macrolevel statistical data". En: B. Cronin; Atkins, H. B. (eds.). *The web of knowledge: a festschrift in honor of Eugene Garfield*. New Jersey: Information Today, 2000.
- Buter, Renald K.; Noyons, Ed C. M. "Improving the functionality of interactive bibliometric science maps". En: *Scientometrics*, 2001, v. 51, n. 1, pp. 55-67.
- Butler, Linda. *ARC-supported research: the impact of journal publication output 1996-2000*, Australian Research Council. Consultado en: 23-03-07. [http://www.arc.gov.au/pdf/arc\\_supported\\_research.pdf](http://www.arc.gov.au/pdf/arc_supported_research.pdf)
- Buzdylowski, Jan; White, Howard D.; Lin, Xia. "Term co-occurrence analysis as an interface for digital libraries". En: *Lecture notes in computer science series*, 2002, v. 2.539, pp. 133-144.
- Centre for Science and Technology Studies (CWTS). Consultado en: 18-02-07. <http://www.cwts.nl>
- Chen, Chaomei. "Bridging the gap: the use of pathfinder networks in visual navigation". En: *Journal of visual languages and computing*, 1998a, v. 9, pp. 267-286.
- Chen, Chaomei. "Generalised similarity analysis and pathfinder network scaling". En: *Interacting with computers*, 1998b, v. 10, pp. 107-128.
- Chen, Chaomei. "Visualising semantic spaces and author co-citation networks in digital libraries". En: *Information processing & management*, 1999, v. 35, pp. 401-420.
- Chen, Chaomei; Kuljis, Jasna. "The rising landscape: a visual exploration of superstring revolutions in physics". En: *Journal of the American Society for Information Science and Technology (Jasist)*, 2003, v. 54, n. 5, pp. 435-446.
- Chen, Chaomei; Morris, Steven. "Visualizing evolving networks: Minimum Spanning Trees versus Pathfinder Networks". En: *IEEE Symposium on information visualization*, 2003, pp. 67-74.
- Chen, Chaomei; Paul, R. J. "Visualizing a knowledge domain's intellectual structure". En: *Computer*, 2001, v. 34, n. 3, pp. 65-71.
- Chen, Chaomei; Paul, Ray J.; O'Keefe, Robert M. "Fitting the jigsaw of citation: information visualization in domain analysis". En: *Journal of the American Society for Information Science and Technology (Jasist)*, 2001, v. 52, n. 4, pp. 315-330.
- Comisión Europea (UE). *Third European report on science & technology indicators, 2003: towards a knowledge-based economy*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003.
- Ding, Ying; Chowdhury, Gobinda G.; Foo, Schubert. "Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis". En: *Information processing & management*, 2001, v. 37, pp. 801-817.
- Fowler, R. H.; Dearhold, D. W. "Information retrieval using path finder networks". En: Schvaneveldt, R. W. (ed.). *Pathfinder associative networks; studies in knowledge organization*. Ablex (NJ): Norwood, 1990.
- García-Muñiz, Ana-Salomé; Ramos-Carvajal, Carmen. "Core/periphery structure models: an alternative methodological proposal". En: *Social networks*, 2006, v. 28, pp. 442-448.

- Garfield, Eugene.** "Citation indexes in sociological and historical research". En: *American documentation*, 1963, v. 14, n. 4, pp. 289-291.
- Garfield, Eugene.** "Introducing the ISI Atlas of Science: biochemistry and molecular biology, 1978-1980". En: *Current contents*, 1981, n. 42, pp. 5-13.
- Garfield, Eugene.** "Introducing the ISI Atlas of Science: biotechnology and molecular genetics, 1981/82 and bibliographic update for 1983-1984". En: *Current contents*, 1984, n. 41, pp. 3-15.
- Garfield, Eugene.** "The encyclopedic ISI-Atlas of Science launches 3 new sections: biochemistry, immunology, and animal and plant sciences". En: *Current contents*, 1988, n. 7, pp. 3-8.
- Garfield, Eugene.** "Scientography: mapping the tracks of science". En: *Current contents: social & behavioral sciences*, 1994, v. 7, n. 45, pp. 5-10.
- Garfield, Eugene.** *Mapping the world of science (at the 150 Anniversary Meeting of the AAAS, Philadelphia, PA)*. Consultado en: 19-02-07. <http://www.garfield.library.upenn.edu/papers/mapsciworld.html>
- Garfield, Eugene; Sher, Irving H.; Torpie, Richard J.** *The use of citation data in writing the history of science*. Philadelphia: Institute for Scientific Information, 1964.
- Glänzel, Wolfgang; Schubert, A.; Czerwon, H. J.** "An item-by-item subject classification of papers published in multidisciplinary and general journals using reference analysis". En: *Scientometrics*, 1999, v. 44, n. 3, pp. 427-439.
- Glänzel, Wolfgang; Schubert, A.; Czerwon, H. J.; Shoenflin, U.** "An item-by-item subject classification of papers published in journals covered by the SSCI database using reference analysis". En: *Scientometrics*, 1999, v. 46, n. 3, pp. 431-441.
- Gómez, Isabel; Fernández, M. Teresa; Bordons, María; Cabrero, A.; Morillo, Fernanda; Rojo, Raquel.** *La actividad científica del CSIC a través del Science Citation Index, Social Sciences Citation Index y Arts & Humanities Citation Index*. Estudio bibliométrico del período 1997-2000. Madrid: Cindoc, 2002.
- Gómez, Isabel; Fernández, M. Teresa; Bordons, María; Cabrero, A.; Morillo, F.** *Proyecto de obtención de indicadores de producción científica y tecnológica de España*. Madrid, Cindoc, 2004.
- Granoveter, Mark S.** "The strength of weak ties". En: *American journal of sociology*, 1973, v. 78, n. 6, pp. 1.360-1.380.
- Griffith, Bellver C.; Small, Henry; Stonehill, Judy A.; Dey, Sandra.** "The structure of scientific literature, II: toward a macro and microstructure for science". En: *Science studies*, 1974, v. 4, pp. 339-365.
- Guerrero-Bote, Vicente P.; Moya-Anegón, Félix de; Herrero-Solana, Víctor.** "Document organization using Kohonen's algorithm". En: *Information processing & management*, 2002, v. 38, pp. 79-89.
- Kamada, Tomihisa; Kawai, Satoru.** "An algorithm for drawing general undirected graphs". En: *Information processing letters*, 1989, v. 31, n. 1, pp. 7-15.
- Leydesdorff, Loet.** "Mapping interdisciplinarity at the interfaces between the Science citation index and the Social science citation index". En: *Scientometrics*, 2007, v. 71, n. 3.
- Leydesdorff, Loet; Vaughan, Liwen.** "Co-occurrence matrices and their applications in information science: extending ACA to the web environment". En: *Journal of the American Society for Information Science and Technology (Jasist)*, 2006, v. 57, n. 12, pp. 1.616-1.628.
- Lin, Xia; White, Howard D.; Buzydowski, Jan.** "Real-time author co-citation mapping for online searching". En: *Information processing & management*, 2003, pp. 689-706.
- Morris, Steven A.; Yen, G.; Wu, Zheng; Asnake, Benyam.** "Time line visualization of research fronts". En: *Journal of the American Society for Information Science and Technology (Jasist)*, 2003, v. 54, n. 5, pp. 413-422.
- Moya-Anegón, Félix de; Vargas-Quesada, Benjamín; Herrero-Solana, Víctor; Chinchilla-Rodríguez, Zaida; Corera-Álvarez, Elena; Munoz-Fernández, Francisco J.** "A new technique for building maps of large scientific domains based on the cocitation of classes and categories". En: *Scientometrics*, 2004, v. 61, n. 1, pp. 129-145.
- Moya-Anegón, Félix de; Chinchilla-Rodríguez, Zaida; Corera-Álvarez, Elena; Herrero-Solana, Víctor; Munoz-Fernández, Francisco J.; Navarrete-Cortés, José; Vargas-Quesada, Benjamín.** *Indicadores bibliométricos de la actividad científica española 1998-2002*. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (Fecyt), 2004.
- Moya-Anegón, Félix de; Vargas-Quesada, Benjamín; Chinchilla-Rodríguez, Zaida; Herrero-Solana, Víctor; Corera-Álvarez, Elena; Munoz-Fernández, Francisco J.** "Domain analysis and information retrieval through the construction of heliocentric maps based on ISI-JCR category cocitation". En: *Information Processing & Management*, 2005, v. 41, n. 6, pp. 1520-1533.
- Moya-Anegón, Félix de; Chinchilla-Rodríguez, Zaida; Corera-Álvarez, Elena; Herrero-Solana, Víctor; Munoz-Fernández, Francisco J.; Vargas-Quesada, Benjamín.** *Indicadores bibliométricos de la actividad científica española: ISI Web of Science 1995-2003*. Madrid: Fecyt, 2005.
- Moya-Anegón, Félix de; Vargas-Quesada, Benjamín; Chinchilla-Rodríguez, Zaida; Corera-Álvarez, Elena; González-Molina, Antonio; Munoz-Fernández, Francisco; Herrero-Solana, Víctor J.** "Visualizing and analyzing the Spanish science structure: ISI web of Science 1990-2005". En: *El profesional de la información*, 2006, v. 15, n. 4, pp. 258-269.
- Noyons, Ed C. M.** "Bibliometric mapping of science in a science policy context". En: *Scientometrics*, 2001, v. 50, n. 1, pp. 83-98.
- Noyons, Ed C. M.; Moed, Henk F.; Luwel, M.** "Combining mapping and citation analysis for evaluative bibliometric purposes: a bibliometric study". En: *Journal of the American Society for Information Science (Jasis)*, 1999, v. 50, n. 2, pp. 115-131.
- Ortega, José-Luis; Aguillo, Isidro F.** "Análisis de co-enlaces: una aproximación teórica". En: *El profesional de la información*, 2006, v. 15, n. 4, pp. 270-277.
- Price, Derek de Solla.** "Networks of scientific papers". En: *Science*, 1965, v. 149, pp. 510-515.
- SCImago Group.** "Atlas of science". Consultado en: 23-03-07. <http://www.atlasofscience.net>
- Samoylenko, I.; Chao, T. C.; Liu, W. C.; Chen, Chaomei M.** "Visualizing the scientific world and its evolution". En: *Journal of the American Society for Information Science and Technology (Jasist)*, 2006, v. 57, n. 11, pp. 1.461-1.469.
- Seiden, L. S.; Swanson, D. R.** "ISI Atlas of Science: pharmacology 1987, vol. 1 - Inst-SCI- Informat". En: *Library quarterly*, 1989, v. 59, n. 1, pp. 72-73.
- Small, Henry.** "A passage through science: crossing disciplinary boundaries". En: *Library trends*, 1999, v. 48, n. 1, pp. 72-108.
- Small, Henry.** "Paradigms, citations and maps of science: a personal history". En: *Journal of the American Society for Information Science and Technology (Jasist)*, 2003, v. 54, n. 5, pp. 394-399.
- Small, Henry; Garfield, Eugene.** "The geography of science: disciplinary and national mappings". En: *Journal of information science*, 1985, v. 11, n. 4, pp. 147-159.
- Small, Henry; Griffith, Bellver C.** "The structure of scientific literature, I: identifying and graphing specialties". En: *Science studies*, 1974, v. 4, pp. 17-40.
- Small, H.; Sweeney, E.** "Clustering the science citation index using co-citations. 1. A comparison of methods". En: *Scientometrics*, 1985, v. 7, n. 3-6, pp. 391-409.
- Small, H.; Sweeney, E.; Greenlee, E.** "Clustering the science citation index using co-citations. 2. Mapping science". En: *Scientometrics*, 1985, v. 8, n. 5-6, pp. 321-340.
- The Thomson Corporation.** *ISI Web of Knowledge*. Consultado en: 19-02-07. <http://www.isiwebofknowledge.com>
- Van Raan, Anthony F. J.; Tijssen, Robert J. W.** "The neuronal net of neuronal network research. An exercise in bibliometric mapping". En: *Scientometrics*, 1993, v. 26, n. 1, pp. 169-192.
- Vargas-Quesada, Benjamín; Moya-Anegón, Félix de.** *Visualizing the structure of science*. Berlin: Springer, 2007.

**Vargas-Quesada, Benjamín; Moya-Anegón, Félix de; Chinchilla-Rodríguez, Zaida; González-Molina, Antonio.** "Domain analysis by means of the visualization of maps of vast scientific domains". En: *I Conferencia internacional sobre ciencias y tecnologías multidisciplinares de la información*, 2006.

**Wasserman, Stanley; Faust, Katherine.** *Social network analysis: methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

**White, Howard D.** "Toward ego-centered citation analysis". En: **Cronin, B.; Atkins, H. B.** (eds.). *The web of knowledge: a festschrift in honor of Eugene Garfield*. New Jersey: Information Today, 2000.

**White, Howard D.; Buzydlowski, Jan; Lin, Xia.** "Co-cited author maps as interfaces to digital libraries: designing pathfinder networks in the humanities". En: *IEEE International conference on information visualization*, 2000, pp. 25-30.

**White, Howard D.; McCain, Katherine W.** "Visualization of literatures". En: *Annual review of information systems and technology (Arist)*, 1997, v. 32, pp. 99-168.

**White, Howard D.; McCain, Katherine W.** "Visualizing a discipline: an author co-citation analysis of information science, 1972-1995". En: *Journal of the American Society for Information Science (Jasis)*, 1998, v. 49, n. 4, pp. 327-355.

**Benjamín Vargas-Quesada, Félix de Moya-Anegón, Zaida Chinchilla-Rodríguez, Elena Corera-Álvarez,**  
*Universidad de Granada.*

*benjamin@ugr.es*

*felix@ugr.es*

*zchinch@ugr.es*

*ecorera@ugr.es*

**Vicente Guerrero-Bote,** *Universidad de Extremadura.*  
*vicente@alcazaba.unex.es*